

ОЧИСТКА ВОДНЫХ РЕСУРСОВ ОТ ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕМБРАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Крук А.С., Алейников А.А. студенты

Научный руководитель Кляусова Ю.В.

Белорусский национальный технический университет, Беларусь

В данной статье рассматривается метод очистки водных ресурсов (питьевой воды, водоемов) от техногенных радионуклидов с применением мембранных технологий.

Ключевые слова: водные ресурсы, мембранные технологии, техногенные радионуклиды.

В результате аварии на Чернобыльской АЭС значительная территория Республики Беларусь подверглась радиоактивному загрязнению. Основными долгоживущими радионуклидами, представляющими угрозу для водных объектов, являются цезий-137 и стронций-90. Эти элементы мигрируют в грунтовые воды, накапливаются в донных отложениях и представляют серьезную опасность при использовании воды для питьевых и хозяйственных нужд. Традиционные методы водоочистки (коагуляция, отстаивание, фильтрация через зернистые загрузки) часто оказываются недостаточно эффективными для удаления растворенных радионуклидов. В связи с этим возрастает интерес к баромембранным технологиям, которые позволяют задерживать загрязнители на молекулярном и ионном уровне.

Почему необходимо использовать мембранную очистку воды:

– Коагуляция, отстаивание или фильтрация через зернистые загрузки, часто не способны улавливать растворенные радионуклиды на ионном уровне в отличие от мембранных технологий;

– Острая необходимость защиты здоровья и экосистемы вблизи от мест загрязнения техногенными радионуклидами;

– Мембранные технологии нового поколения демонстрируют исключительную эффективность благодаря комбинированным механизмам очистки;

– Снижение объемов вторичных отходов и повышение экологической безопасности.

Основные технологии:

– Отделение взвешенных частиц;

– Наночислительная очистка (задерживает основную массу многозарядных нуклидов);

– Доочистку фильтрата на селективных сорбентах (например, "Термоксид-35" для улавливания проскокового цезия-137).

Такой подход позволяет снизить объем конечных радиоактивных отходов в 3,6 раза [1].

Экономическая эффективность: Внедрение мембранных технологий экономически целесообразно там, где требуется глубокая очистка больших объемов воды с получением стабильно высокого качества и минимизацией вторичных отходов. Для Беларуси это, прежде всего, стратегический инвестиционный проект в области питьевого водоснабжения крупных городов и точечной реабилитации особо ценных или критически загрязненных водных объектов.

Экологическая эффективность мембранных технологий позволяет достичь практически полной очистки воды от самых опасных техногенных радионуклидов. Основные усилия сегодня направлены на то, чтобы сделать этот процесс еще более экологичным за счет повышения долговечности мембран, снижения энергопотребления и разработки безопасных способов утилизации образующихся концентратов [3].

Таблица 1 - Сравнение методов очистки сточных вод

Метод очистки	Принцип действия	Основные загрязнители	Эффективность	Применение
Механическая	Физическое удаление частиц	Взвешенные вещества, песок, мусор	70-95%	Первичная очистка
Биологическая традиционная	Биохимическое окисление	Органические вещества, БПК	85-98%	Основная очистка
Мембранный биореактор (MBR)	Биологическая очистка + ультрафильтрация	Все виды загрязнений, микроорганизмы	98-99.9%	Современная биологическая очистка
Физико-химическая	Химические реакции и физические процессы	Растворенные вещества, тяжелые металлы	80-98%	Доочистка, специальные загрязнители
Комбинированная с MBR	Интеграция всех современных методов	Все виды загрязнений	99-99.9%	Глубокая очистка для повторного использования

Значения взяты с таблицы 1. Источник <https://inner.su/articles/tablistsy-effektivnosti-ochistki-stochnykh-vod-mekhanicheskaya-biologicheskaya>

Разработка волокнисто-пористых материалов для сорбции радионуклидов:

В работе [4] рассматриваются композитные материалы на основе модифицированных полимерных волокон, которые могут обладать повышенной сорбционной способностью к ионам цезия и стронция. Преимущества таких волокнисто-пористых систем заключаются в:

- высокой удельной поверхности контакта с очищаемой водой;
- возможности химической модификации поверхности волокон для придания им селективности к конкретным изотопам;
- низком гидравлическом сопротивлении, что позволяет использовать их в проточных системах фильтрации.

Несмотря на то, что данная работа фокусируется на сорбционных свойствах материалов, она открывает перспективы для создания комбинированных сорбционно-мембранных технологий. Волокнистые материалы могут служить основой для мембран или префильтров, повышая общую эффективность очистки от радионуклидов [2].

Мембранные технологии, в особенности нанофильтрация и обратный осмос, являются одним из наиболее эффективных и перспективных методов удаления растворенных техногенных радионуклидов из природных и сточных вод. Но при этом является очень дорогостоящим. Дальнейшее развитие и внедрение мембранных технологий для очистки воды от радионуклидов в Беларуси требует решения комплекса задач, включая отработку методов утилизации образующихся радиоактивных концентратов и адаптации существующих мембранных установок, разрабатываемых для целей водоподготовки, под специфику удаления радионуклидов.

Литература

1. Разработка перспективной мембранно-сорбционной технологии очистки от радионуклидов жидких радиоактивных отходов АЭС с реакторными установками нового поколения ВВЭР-1200/топ / В.В. Милютин и др. // 2025, № 4 (33), с. 29-43.

2. Первов, А.Г. Разработка мембранных технологий с уменьшенным расходом воды на собственные нужды / А.Г. Первов, А.П. Андрианов, Т.П. Горбунова // Водоснабжение и санитарная техника. – 2010. – №6. – С.13-21.

3. Тамело, В.Ф. Способы очистки водоемов от боевых отравляющих веществ и радиоактивных отходов / В.Ф. Тамело, Т.М. Тявловская // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 9 международной научно-технической конференции. В 4 т. – Минск: БНТУ, 2011.

4. Никитин, А.Н. Перспективные волокнисто-пористые системы в очистке воды от долгоживущих радионуклидов / А.Н. Никитин, А.В. Зубарева, А.Г. Кравцов // Сотрудничество – катализатор инновационного роста: сб. мат-лов 4-го Белорусско-Прибалтийского форума. – Минск: БНТУ, 2018. – С. 106-107.